

Численное моделирование взаимодействия атома OHe «тёмной» материи с ядрами барионного вещества

Выполнил: Бикбаев Т.Э.

Группа: Б16-102

Руководитель НИР, д.ф.-м.н.:

Хлопов М.Ю.

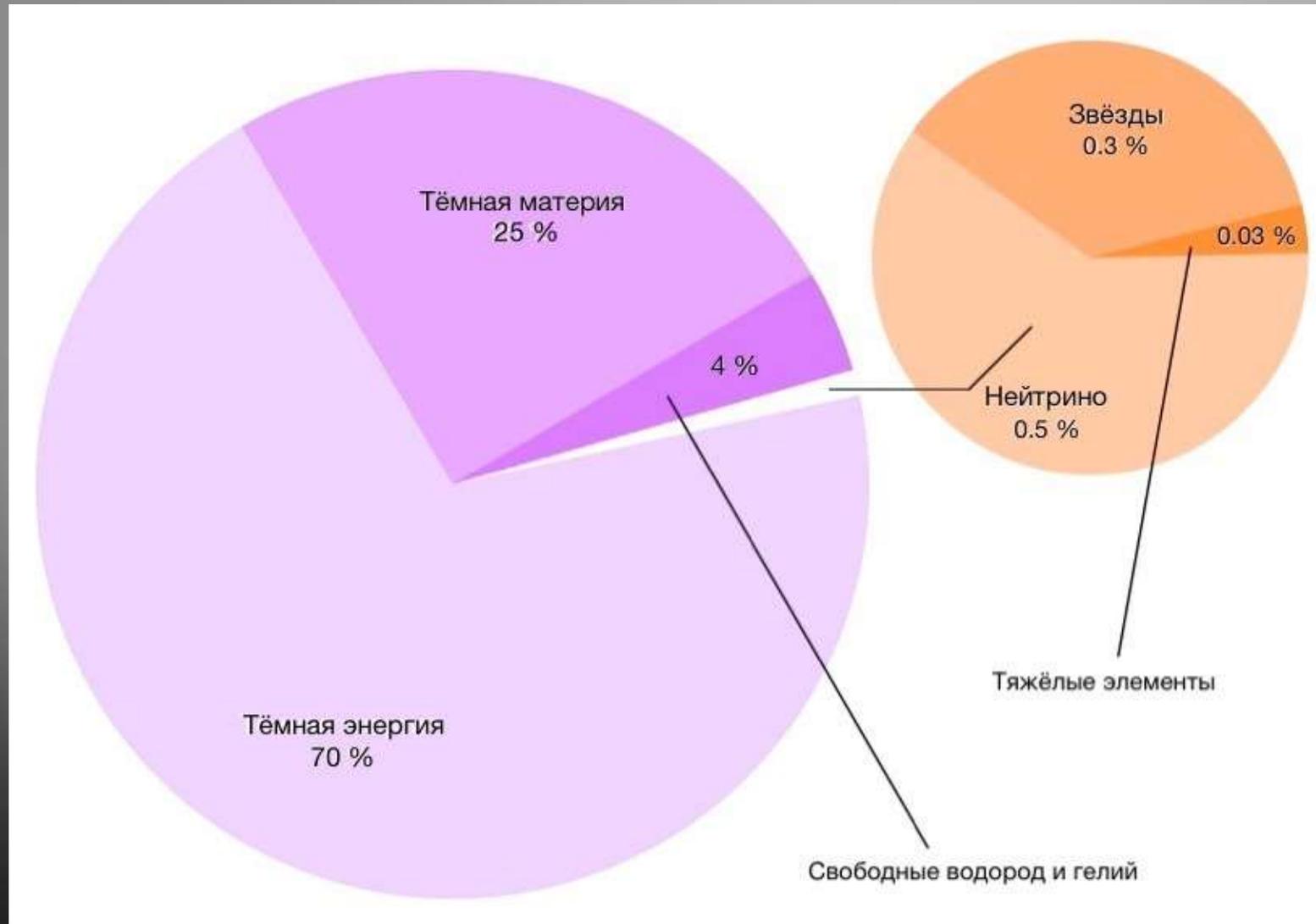
Консультант по НИР, канд.ф.-м.н.:

Майоров А.Г.

Почему работа актуальна?

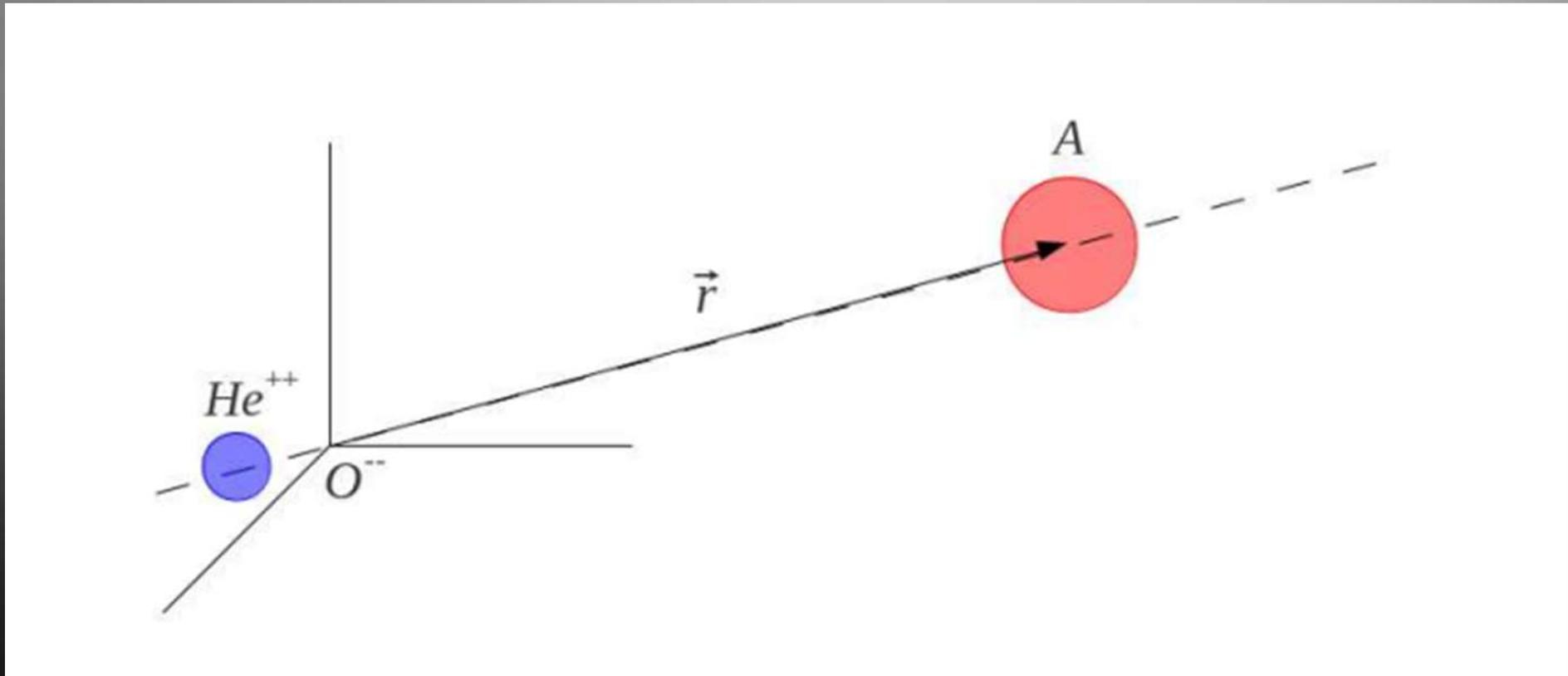
- ❖ Проблема скрытой массы
- ❖ Гипотеза $O\text{Ne}$ включает в себя минимальное число параметров «новой» физики
- ❖ Гипотеза $O\text{Ne}$ может объяснить противоречивые результаты прямого поиска «тёмной» материи, за счет специфики взаимодействия O -гелия с веществом подземных детекторов

Проблема скрытой массы



Гипотеза ОНе включает в себя минимальное число параметров «новой» физики

Модель ОНе предполагает существование реликтовых, стабильных, лептоподобных, массивных (1.25 ТэВ) частиц с зарядом -2, связанных кулоновским взаимодействием с ядрами первичного гелия в "темные атомы" скрытой массы.

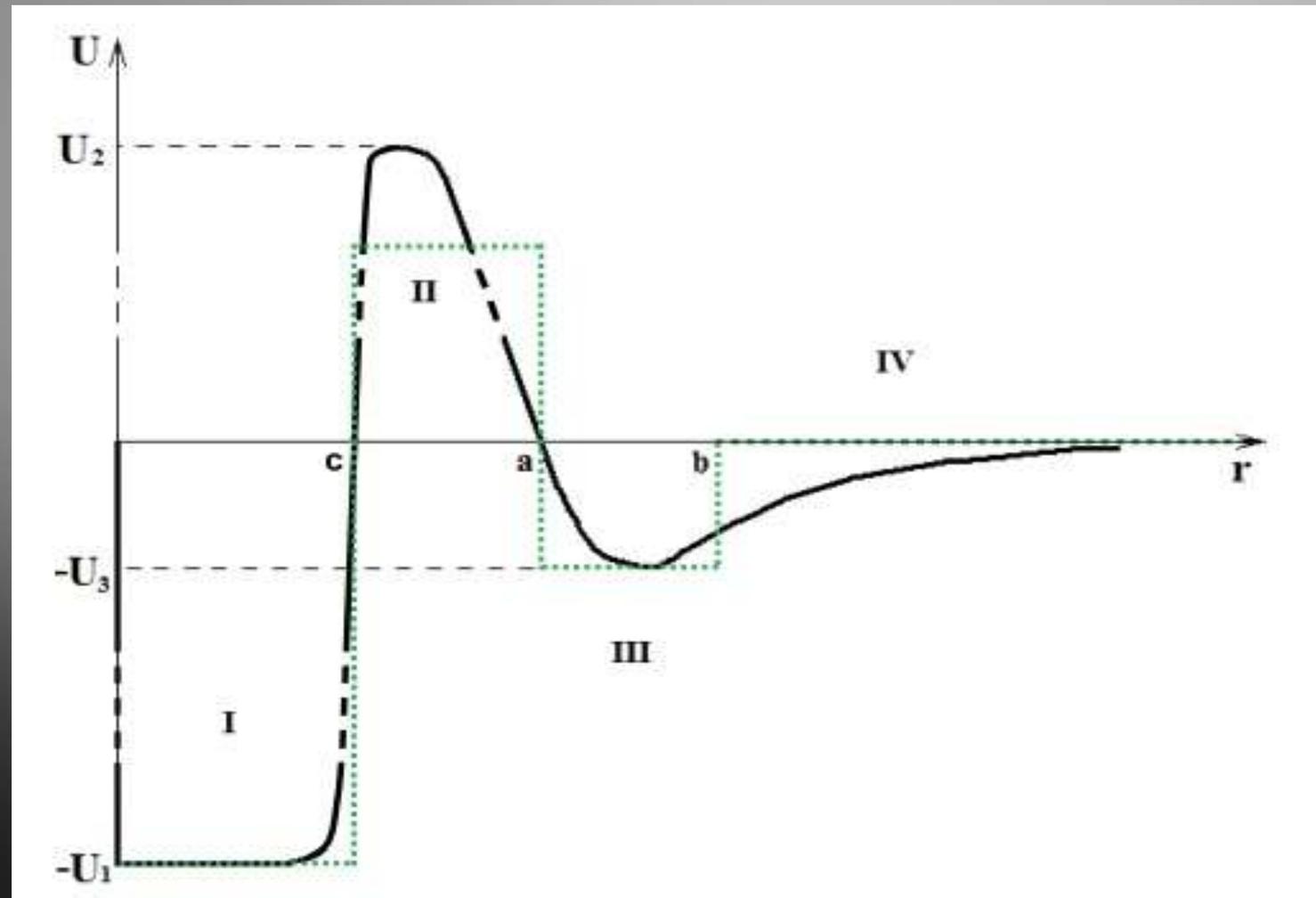


Результаты поисков «тёмной» материи

Результаты экспериментов DAMA/NaI и DAMA/LIBRA можно объяснить годовыми модуляциями энерговыведения при формировании низкоэнергетического связанного состояния OHe с ядрами.

Детектор	Ядра	A	Z	Температура	Обнаружение
DAMA (/NaI +/LIBRA)	Na I TI	23 127 205	11 53 81	300 К	8.9 σ
CoGeNT	Ge	70-74	32	70 К	2.8 σ
CDMS	Ge (Si)	70-74 (28-30)	32 (14)	Криогенный	–
XENON100	Xe	124-134	54	Криогенный	–

Существование низкоэнергетического связанного состояния OHe с ядрами и доминантность упругих процессов в сценарии OHe основывается на гипотезе о наличии дипольного потенциального барьера в процессах взаимодействия OHe с ядрами, требующей корректного квантовомеханического обоснования

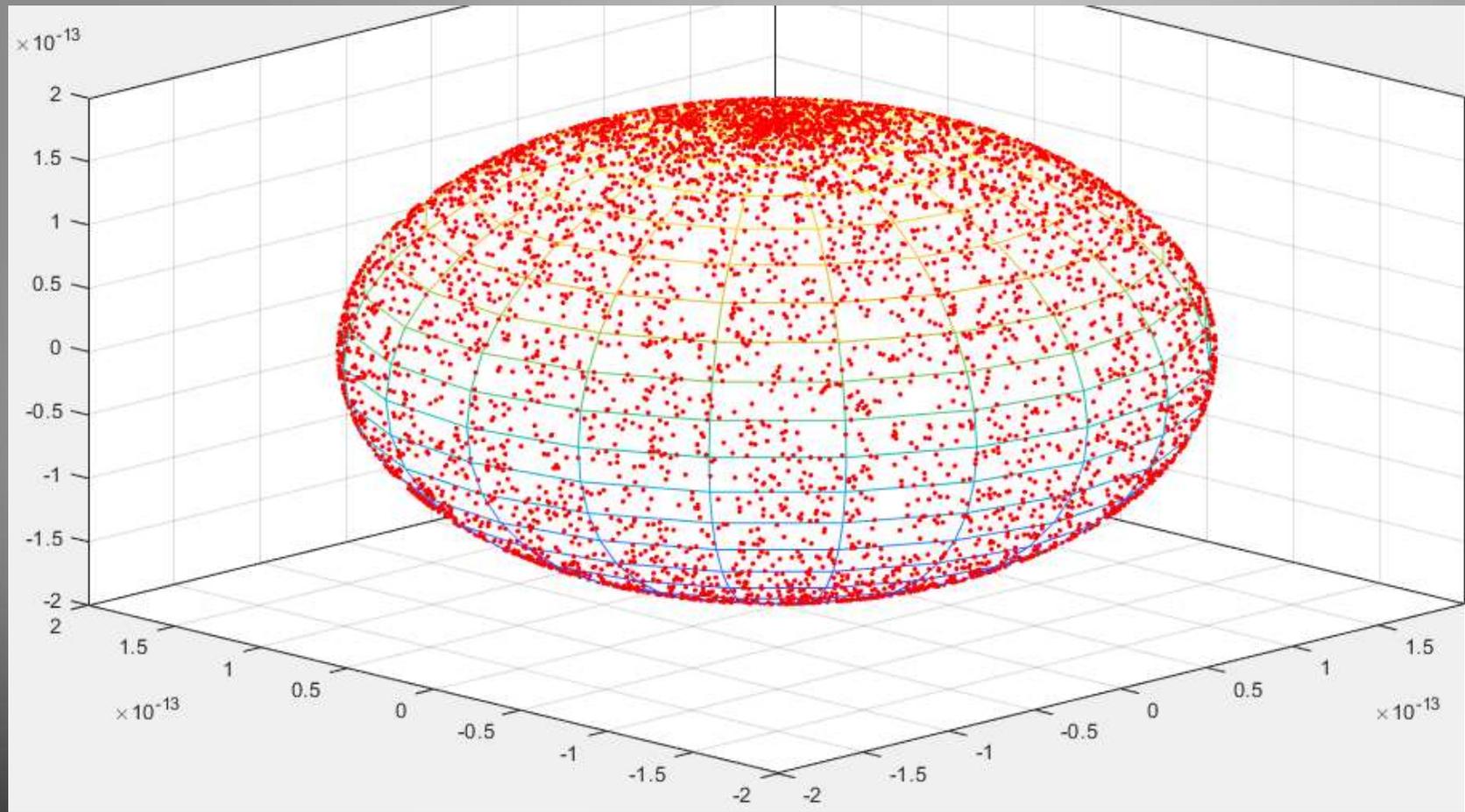


Система ОНе

$$d\theta = \left(\frac{V_\alpha dt 180}{R_b \pi} \right) (2rand - 1)$$

$$d\phi = \frac{\sqrt{\left(\frac{V_\alpha dt}{R_b} \right)^2 - \left(d\theta \frac{\pi}{180} \right)^2}}{\cos\left(\theta \frac{\pi}{180} \right)} \left(\frac{180}{\pi} \right) (2rand - 1)$$

$$\left(d\theta \right)^2 + \left(\cos \theta d\phi \right)^2 \leq \left(\frac{V_\alpha dt}{R_b} \right)^2$$



Траектория движения альфа-частицы в системе OHe

Учёт конечного размера ядер

$$\rho_{p,n} = \rho_{o_{p,n}} \left(1 + \exp \left(\frac{r - R_{p,n}^{rms}}{a_{p,n}} \right) \right)^{-1}$$

где a_p , a_n и $R_{p,n}^{rms}$ вычисляются следующим образом:

$$a_p = 0.449 + 0.071 \frac{Z}{N}$$

$$a_n = 0.446 + 0.072 \frac{N}{Z}$$

$$R_{p,n}^{rms} = \left(\frac{3}{5} R_{o_{p,n}}^2 + \frac{7\pi^2}{5} a_{p,n}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{5}{4\pi} \beta_2^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

где R_{o_p} и R_{o_n} также вычисляются используя формулы:

$$R_{o_p} = 1.322 Z^{\frac{1}{3}} + 0.007N + 0.022$$

$$R_{o_n} = 0.953 N^{\frac{1}{3}} + 0.015Z + 0.774$$

где $N = A - Z$ это число нейтронов в ядре.

Моделирование взаимодействия атома ОНе с ядром барионного вещества в лабораторной системе отсчёта.
Кулоновские силы.

$$\vec{F}_{Z\alpha} = \vec{F}_{Z\alpha}(\vec{r}_\alpha) = \frac{ZZ_\alpha e^2 \vec{r}_\alpha}{r_\alpha^3},$$

где r_α это радиус вектор альфа-частицы, e это элементарный заряд.

При этом:

$$\vec{r}_\alpha = \vec{r} + \vec{R}_b$$

где R_b это борковский радиус.

$$\vec{F}_{ZO} = \vec{F}_{ZO}(\vec{r}) = \frac{ZZ_O e^2 \vec{r}}{r^3},$$

где r это радиус вектор частицы O^{--} .

$$\vec{F}_{\text{sum}} = \vec{F}_{ZO} + \vec{F}_{Z\alpha}$$

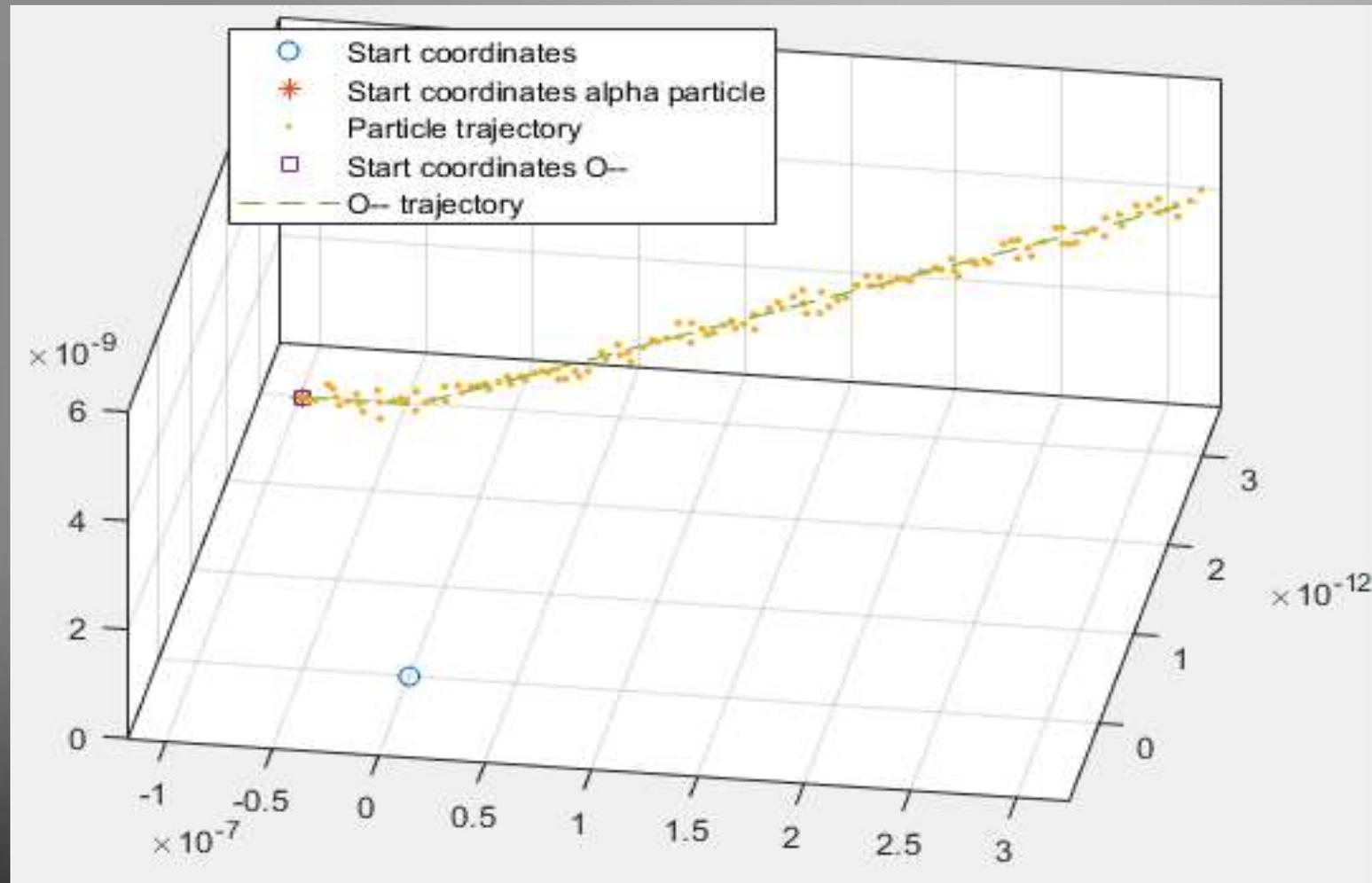
$$dP = F_{\text{sum}} dt$$

$$dV = \frac{dP}{M_{O^-} + M_{\alpha}}$$

$$dT < I \approx 1.6 \text{ MeV}$$

$$dT = \frac{dP_{\alpha}^2}{2M_{\alpha}}$$

$$dP_{\alpha} = F_{Z\alpha} dt$$



Траектории альфа-частицы и частицы O^{--}

Добавление эффектов ядерной силы

$$\vec{F}_{Z\alpha NUC} = -\frac{\frac{V_0}{a} \exp\left(\frac{r_\alpha - R_Z}{a}\right) \frac{\vec{r}_\alpha}{r_\alpha}}{\left(1 + \exp\left(\frac{r_\alpha - R_Z}{a}\right)\right)^2},$$

$$\vec{F}_{Sum} = \vec{F}_{ZO} + \vec{F}_{\alpha Sum}$$

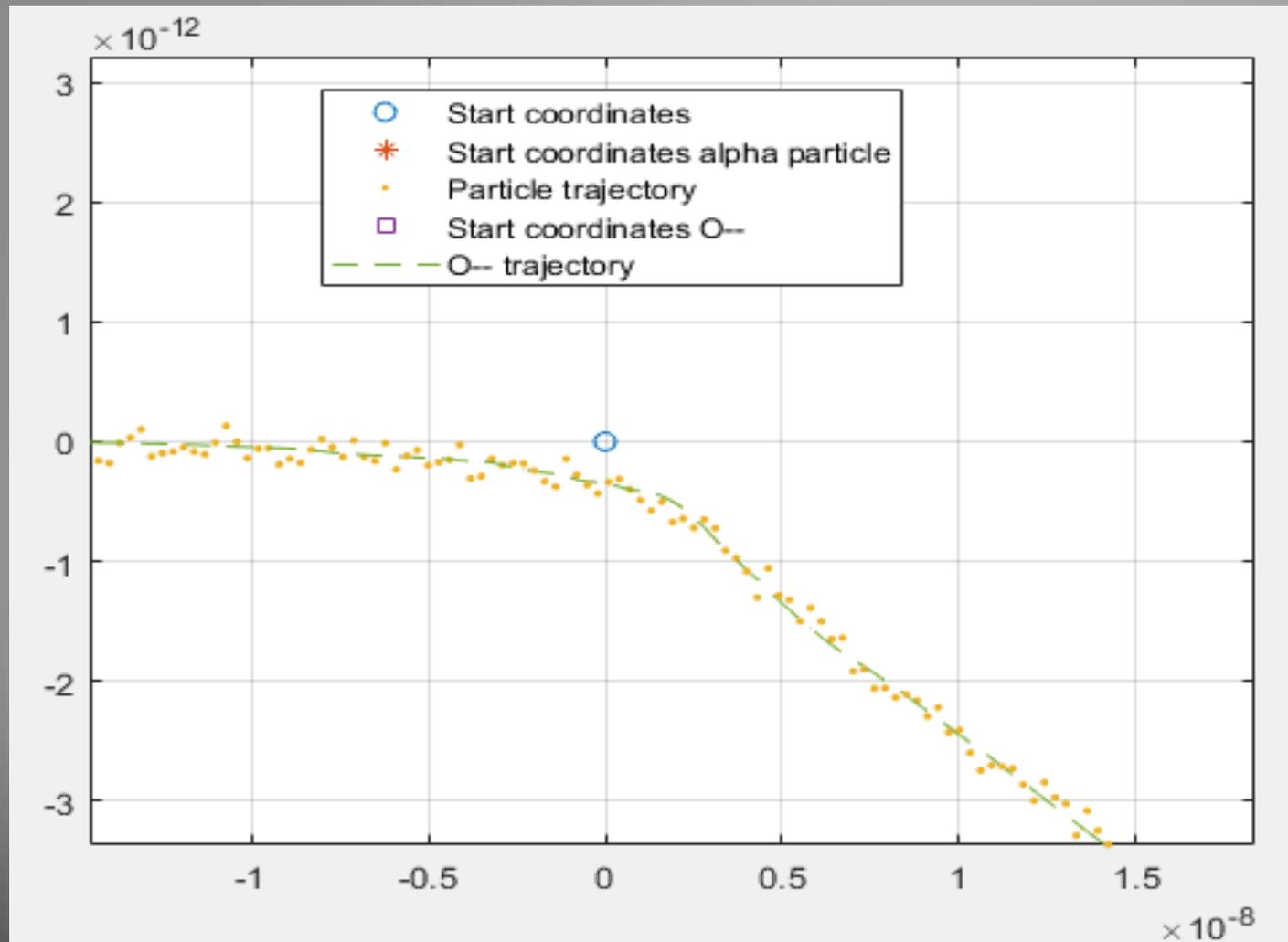
где $\vec{F}_{\alpha Sum}$ суммарная сила действующая на альфа-частицу:

$$\vec{F}_{\alpha Sum} = \vec{F}_{Z\alpha} + \vec{F}_{Z\alpha NUC}$$

$$dT = \frac{dP_{\alpha Sum}^2}{2M_\alpha}$$

где $dP_{\alpha Sum}$ приращение импульса альфа-частицы определяемое как:

$$dP_{\alpha Sum} = F_{\alpha Sum} dt$$



Траектория движения альфа-частицы и частицы O^{--} в плоскости XY

Заключение

Конечная цель моделирования ещё не достигнута и в будущем планируется продолжить усложнять систему. Вот что предполагается сделать дальше:

1. Доработать программу с ядерными силами
2. Ввести туннелирование через потенциальный барьер.
3. Вместо рассмотрения точечных частиц ввести конечный размер ядер через учёт распределения плотности нуклонов (ядерный радиус) и плотности протонов (электромагнитный радиус).